

報告

創造的学習への可能性

～「ニューコメン大気圧機関」復元プロジェクトの活動を通して～

続木 章三 英 崇夫
(徳島大学 創成学習開発センター)

(キーワード: 創造的学習、ものづくり、大気圧機関)

Possibilities of creative learning by Work ～ Through the Reconstruction project of “Newcomen Atmospheric Engine” ～

TSUZUKI Shyozou, HANABUSA Takao

(The center for Innovation and Creativity Development, The University of Tokushima)

(Key words: creative learning, creation, atmospheric engine)

1. はじめに

「創造性」育成の1つの手段として「ものづくり」がある。現在、初等教育から大学に至る各学校などでさまざまな取り組みが報告されている。

徳島大学では2004年に全学組織としての創成学習開発センター(以下、センターと記述)を設置し、プロジェクト活動を通して学生の自主的活動による創造性の育成を支援している。

本稿は2006年5月に立ち上げたセンタープロジェクト「ニューコメン機関復元プロジェクト」の活動における「ものづくり」による創造的学習の可能性についての実践報告である。

2. 「ニューコメン機関復元プロジェクト」

2.1 プロジェクトの立ち上げ

2006年5月にセンタープロジェクト「ニューコメン機関復元プロジェクト」を立ち上げ、学生の募集を開始した。図1はプロジェクト募集のポスターである。



図1 プロジェクト募集のポスター

募集はポスター2枚とロコミだけであり、ポスターの注目度や蒸気機関への関心が低いためか暫くプロジェクトへの応募は無かった。しかし、センターの機器講習などでの勧誘が功を奏し、立ち上げ1ヵ月後頃になって機械工学科1回生4名の応募があった。

表1は「プロジェクト実施計画書」の計画内容の抜粋である。

表1 プロジェクトの計画内容

目的: ①大気圧機関の歴史や機構などを文献、Webで調査し、忠実な復元模型を製作する。
②復元模型をエネルギー学習の演示用として教育機関・施設などに貸し出す。
目標: 機械の歴史を通して先人の発想や工夫を学び、加工技術や熱力学の理解を深化させる。

本プロジェクトではセンターの理念である「自主」・「共創」・「創造」を基礎とし、「つくる」、「知る」、「伝える」の3つの柱を据えて活動を展開した。当初の4名に加え、さらに2名(機械工学科1回生)の応募があり、1回生ばかり計6名で7月初旬より活動を開始した。表2は本プロジェクト立ち上げ時の審査会でメンバーがプレゼンテーションした年間活動計画である。

表2 審査会で発表した年間活動計画

- 一人一台ずつ蒸気機関車を作り、構造を理解し、問題点を発見する
- 今年度中を目標に、手動式弁機構大気圧機関(小型)を試運転し、完成させる
- 大学祭で試運転のデモを実施する

2.2 ミニ蒸気機関車製作

「ものづくり」に欠かせないものに基本的な加工技術(技能)がある。これを習得しない限り「よい」(総合的な意味も含めて)作品を作ることはできない。大気圧機関復元模型の製作には金属加工の切断・曲げ・切削・穴あけ・タップ立て・研磨に加え半田付けの技能が不可欠である。その技能習得のために「山崎教育システム」から発売されているミニ蒸気機関車“ベビーエレファント号”を製作することで基本技能を養うことにした。まず、「半田付け」の要領を「はんだ付け練習キット」で練習した。学生たちは中学校の技術で少し経験がある程度で、初めは要領を得ず苦心していた。このキットには半田付けに関する詳しい説明書が添付され「はんだ付けの原理」、「温度」、「フラックス」などについて丁寧に説明されており、学生たちは説明書を読みながら作業を進めた。彼らは何度も失敗を繰り返しながら次第に要領を覚え、簡単な半田付けは全員ができるようになった。続いて広い黄銅板(30×50)に銅パイプ(φ3×40)を垂直に付ける練習をした。黄銅板と材質の異なる銅パイプの半田付けは慣れないとかなり難しい。この練習については筆者がマンツーマンで指導した。学生たちは半田付けとの奮闘中、互いに要領を教え合い、数日後にはメンバー全員が黄銅板と銅パイプの半田付けの要領を確実に習得することができた。

ミニ蒸気機関車キットには付属の車輪が入っているが、今回はそれを用いなくてセンターの機器講習で得た「ヤスリ掛け」の技能を生かした自作のアルミ板車輪の製作を勧めた。車輪の大きさなど各自の自由なデザインで、いろいろな車輪が

完成した。図2はそれらの自作車輪の例である。

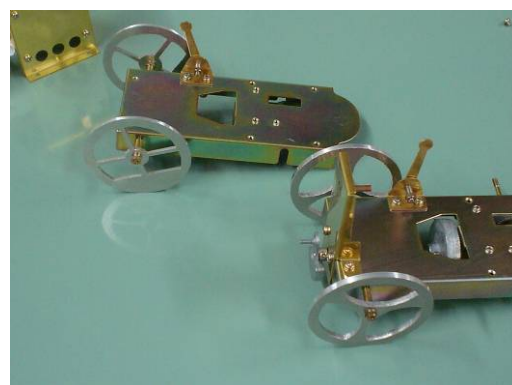


図2 自作した車輪

ミニ蒸気機関車キットの製作には金属加工の基本的技能学習の要素が含まれており、これらの技能は全てプロジェクトの目的である大気圧機関復元模型の製作に不可欠な技能である。プロジェクトのメンバー全員がこれらの技能習得を経た後に初めて「ニューコメン大気圧機関復元模型」の製作段階に進むことができる。

ミニ蒸気機関車を走らせるためにはボイラーの気密性・熱源の有効利用方法・車輪サイズの最適化などの工学的な知識が必要である。このキットの良さは「改良が可能」、「組み立てただけでは動かない」ことである。各自試行錯誤を繰り返しながら次々と5台の“ベビーエレファント号”が完成し、試運転を完了した。それぞれ走り方は異なるが、自作の蒸気機関車が蒸気の力で床を走ったとき、学生たちは歓喜の声をあげていた。

この“ベビーエレファント号”は固形アルコールを燃料としているが、メンバーの1人が「木炭」を熱源として動かしてみたいという案を出し、その試作に取り組んだ。焚き口とボイラーの距離を縮め、焚き口の周りをステンレス製金網で囲み通気性を高めるなど独自に改良を加えたが、十分な熱量が得られず発想は実現しなかった。しかし、この試みこそ自律的創造学習の端緒ともいえる。

2.2 大気圧機関模型の製作

ベビーエレファント号の完成後も、より力強い走りを求めてボイラーの改良、エンジンマウント

の研磨などを続けるメンバーもいたが、9月に入ってから本プロジェクトの目的である「大気圧機関復元模型」の製作に取りかかった。ミニ蒸気機関車製作は個別製作であったのに対し「大気圧機関復元模型」製作は協同製作とした。計画途中で参加した1名のメンバー(生物工学科1回生)を加え、メンバー7名を2名、2名、3名の3班に分け、年間活動計画に沿い、各班1台ずつの「大気圧機関復元模型」を大学祭(11月3日)までに完成させる計画で作業を開始した。

何事においても同様であるが、事を起こすためには「知識」と「経験」が必要である。本プロジェクトに参加している学生7名に「大気圧機関」、「ニューコメンの大気圧機関」の知識はほとんど無く、まず製作に取りかかる前に「ニューコメン大気圧機関」の原理と構造についての情報収集を行った。ニューコメンに関する詳細な文献は少なく、Web上からダウンロードした文献・図版資料(英語版のものを利用。日本語版では資料としての価値は貧弱)を参考にした。また、L. T. C. Rolt 著『THOMAS NEWCOMEN』⁽¹⁾で蒸気エンジンの歴史や構造・原理に関わる部分をコピーし学習会で検討を行った。この会を通して、学生たちは「ニューコメン機関」全体の外観、水蒸気の凝縮によって動くこと、シリンダー内の水蒸気の冷却方法などの知識を得ることができた。

作業開始の時期がちょうど後期授業の開始時期と重なり、メンバーの都合などでスタートは各班とも不揃いになったが、他班の作業内容や進捗状況を見極めながらそれぞれ作業は半競争的に進められた。製作作業の流れは、ビーム(梁)の製作→エンジンおよびビームの支持台の製作→シリンダーおよびピストンの製作→組み立て→試運転である。各部品の製作過程は次の通りである。

A. シリンダー・・・黄銅水道管継手(φ30×55 t3)を利用し、円筒壁面の厚さを0.8~0.9 mmまで旋盤で切削した。

B. ピストン・・・黄銅丸棒から削り出し、滑らかに動くように、シリンダー内壁と同様に摺動部

を研磨し仕上げた。

C. ビーム(梁)および支持台・・・厚さ13 mmの木端材を利用し、資料図を参考に円弧状ビームの形を決定し、木製の支持台に取り付けた。2つの班のビームおよび支持台は木製であったが、もう1つの班は図3のようにアルミの角材を用い、円弧状に曲げてビームを作り、支持台も含め総アルミのエンジンを製作した。



図3 試運転中のアルミ製のエンジン

D. ボイラー・・・教材店から廃品になった“ペビーエレファント号”のボイラーの寄贈を受け、これをニューコメン機関のボイラーとした。

蒸気弁と冷水注入弁の開閉は手動で運転することにした。各班ともメンバー同士で協力しながら部品の製作・組み立て・試運転を行った。ピストンの“コッキング”で研磨のやり直し、“蒸気漏れ”で半田付けのやり直し、“不完全な凝縮”でバルブ(弁)の取り付け位置変更など、どの班もそれぞれ不具合の改良、追加加工などに取り組んだ。

改良を始めて数週間後になってようやく1つのエンジンが動いた。また、別の班はシリンダーを直接冷水で冷やす方法ではなく、シリンダーに接続した銅パイプ(中に蒸気が溜まっている)を冷水中に入れて冷やす“分離凝縮装置”のアイデアを思い付き、エンジンを動かすことに成功した(図4)。総アルミ製のエンジンの班は複雑な自動の弁機構を試み、摩擦などの原因で自動では動かすことができなかった。



図4 分離凝縮器を備えた大気圧機関

2.4 「メカライフの世界」展を通して

活動計画の1つである「メカライフの世界」展での大気圧機関演示を大学祭初日の11月3日に実施した。テーマは“「ニューコメン大気圧機関」の実演”である。前日まで弁の自動化に向けて3班ともエンジンの改良に取り組んだが、どの班も自動化には至らず、当日の実演は手動で行うことになった。自動化にはバルブ（弁）の開閉をピストンに連動させた間歇カム機構の知識が必要であるが1回生の学生たちにとってリンクやカムの知識はなく、経験的な既存の仕組みで動かす方法しか思い浮かばなかったことは当然である。ある学生の1人は自動化実現の意欲が旺盛で、何度も試行錯誤を繰り返していた。しかし、結局自動化の夢を果たすことはできなかった。

「メカライフの世界」展は本プロジェクトのメンバーによって実施・運営された。イベントの主題は大気圧機関の演示であったが、学生たちの苦心の作品である“ベビーエレファント号”の試走と子供向けに「空き缶つぶし」、「折り紙ポンポン船」工作をその内容に加えた。図5は当日のスナップである。

プロジェクトの学生たちは小学生や一般の来場者に大気圧機関の仕組みを分かり易く丁寧に説明した。また、「折り紙ポンポン船」のコーナーでは子供たちに折り紙指導とポンポン船の動く原理などを担当の学生たちが熱心に説明した。

（図6）



図5 「メカライフの世界」展での演示



図6 「折り紙ポンポン船」工作

2.5 徳島県立中央高校での出前授業

プロジェクト実施計画案の目的②に“復元模型をエネルギー学習の演示用として教育機関・施設などに貸し出す”とある。徳島中央高校（通信制）に「学生たちの作った熱機関の演示をさせる機会を作って欲しい」と依頼し、12月の日曜日「スクーリング日」に出前授業を行うことになった。

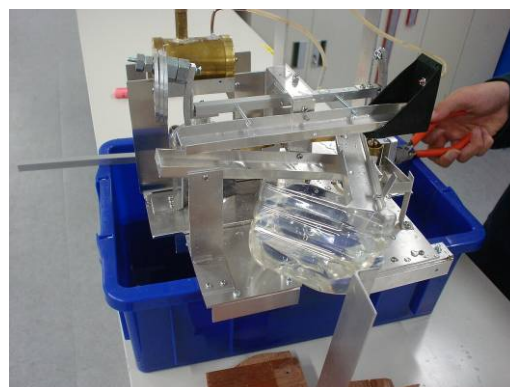


図7 「ししおどし」の自動弁機構

「メカライフの世界」展を終えてもなお2つの班ではエンジン自動化に向けての改良が続いていた。ある班では蒸気ジャケットをシリンダーに追加し弁機構の自動化、別の班では“ししおどし”の仕組みを使った弁機構の自動化に挑戦していた。“ししおどし”の自動開閉弁機構(図7)は成功し、自動で動いたが排水処理の追加が必要であり、当日まで間には合わなかった。

出前授業には3名の学生が参加し、40分間の授業を行った。初め「熱機関の歴史」について簡単に触れ、続いて「大気圧を体感する」ということで解説を交えた「空き缶つぶし」の実演を行った。

高校の教員を含め生徒の多くはアルミ缶が潰れるときの音に驚いていた。その後は自分たちの



図8 徳島中央高校での出前授業

作った「大気圧機関」動かし、熱エネルギーが「仕事」に変換されることを説明しながら演示実験した。さらにミニ蒸気機関車の試走を行い、低速ではあるが小さい機関車が長机の上を走り終えると生徒全員からの温かい拍手があった。(図8)

3. 学生たちの変容

プロジェクトに参加した学生たちは「ものづくり」に対してきわめて意欲的であり、プロジェクトの結成後すぐに活動を開始することができた。

活動の第1段階は機器講習の延長で、アルミ板端面の「やすり掛け」であった。筆者は彼らに「やすり」で磨き上げた半月形のアルミ板を見せ、基本的な「やすり掛け」の方法をマンツーマンに近い形で指導し、彼らに作業をさせた。“いかにな

めらかな端面を仕上げることができるか”が彼らの目標になり、競い合って「やすり掛け」に専念した。「より美しいモノを作りたい」という気持が彼らの「ものづくり」意欲を鼓舞した。

ミニ蒸気機関車の製作では車輪の自作を勧めたが、この段階でメンバーの「ものづくり」に対する意欲、意識、価値観などにバラツキが顕著に見られるようになった。車輪に使用したアルミ板の厚さも1mm、2mm、3mmと3種類に分かれ、また車輪の中抜き形状もすべて異なり、細工の仕上げの優劣に大きな開きが生じてきた。しかし、メンバー全員が同じ目的である蒸気機関車製作では一致しており、作業進度の遅速はあったものの同じ方向性で作業を続けることができた。

大気圧機関の製作では2~3人のグループ作業であったが、シリンダーの旋盤加工に際しては各班の作業に大きな差異が見られた。ある班では技能的には中程度のメンバーに主従関係が明確になり作業の進度は他の班に比べ遅かった。また、別の班のメンバー構成は同等な立場関係にあり共同作業の進捗は早かった。さらにもう1つの班は技能的に優れた指導的立場のメンバーと従的メンバーとの構成であるが、リーダー格の指示により円滑に作業は進んだ。

エンジンの形状は各班各様のスタイルであったが、いずれの班も11月の「メカライフの世界」展までにどうにか完成させることができた。いずれの班も自動化を目指して改良の努力が続けたが、期日までに成功した班はなかった。「メカライフの世界」展の終了後も弁機構の自動化実現に向けて日々改良が続けられている。(図9、図10)



図9 弁機構を改良した総アルミのエンジン



図10 弁機構を追加したエンジン

4. 個人評価アンケートの実施

本プロジェクトの教育的効果を確認するためにプロジェクト活動の終了期の2月初旬メンバー全員に対して無記名のアンケートを実施し7名全員から回答を得た。表3はその設問内容で、図11はその集計結果をグラフで示したものである。

表3 アンケートの設問内容

次の設問に1～5段階で答えて下さい。

(評価 1:全くそう思わない 2:あまり思わない 3:普通 4:ややそう思う 5:非常にそう思う)

設問 このプロジェクトに参加したことで、

Q1. 道具の使い方や工作技能が上達した。 A:()

Q2. 考える力や工夫する力が身についた。 A:()

Q3. 熱力学などの知識が豊富になった。 A:()

設問 各イベントや出前授業に参加して、

Q4. 指導や説明する力が身についた。 A:()

Q5. 説明することの難しさが分かった。 A:()

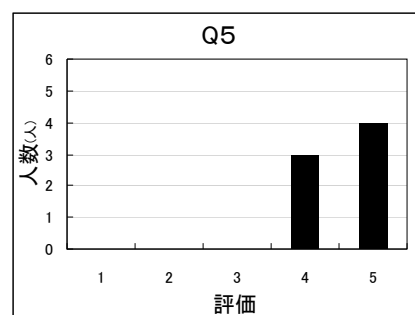
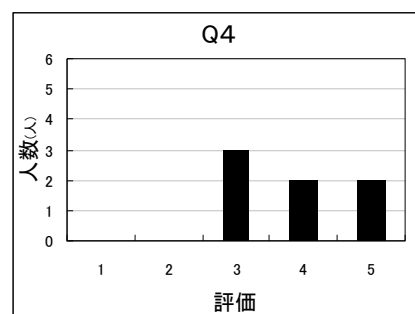
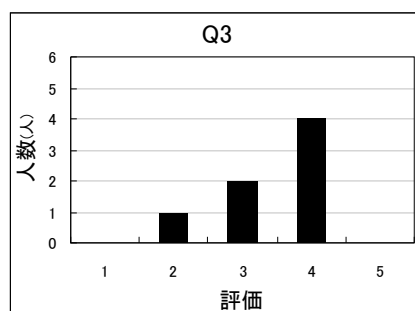
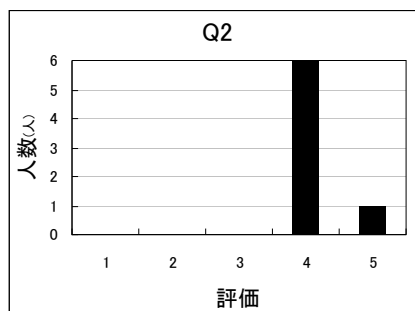
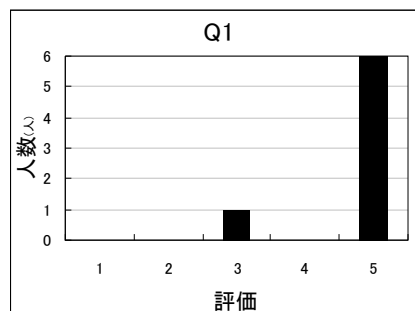


図11 アンケートの集計結果

図11のQ1については1名の学生(他の学生に比べ技能的に優れている)を除いて残り全員が技能習得の向上をあげており、これに伴うQ2の理解や工夫の進歩に影響を及ぼしていると考えられる。しかしQ3の熱機関の理解深化については半数の学生が進展を感じておらず、設問の意図した蒸気機関の仕組みの理解を高度な専門的な熱力学の内容と受け取った可能性がある。Q4のイベントでの説明力は初めての経験でもあり、自信の無さが伺えるが、上位4名の学生については明らかに教育的効果が認められる結果になっている。同様にQ5の設問に対してほぼ全員が「説明すること」の難しさを感じており、この傾向をさらに発展的な動機に結びつけるかが今後の課題である。

5. おわりに

上述のように本プロジェクトを立ち上げるに当たり筆者は次の3つの「悦び」の柱を据えた。「つくる悦び」、「知る悦び」そして「伝える悦び」である。これらは相互にフィードバックされることで、それぞれの「悦び」が強化され、創造的学習活動への原動力になり得る。このうちの1つが欠けても十分な学習効果は得られない。

本プロジェクトのメンバーたちは大気圧機関の原理を知り、何度も失敗を重ね、さらなる知識を自ら求めることによって復元模型を作り上げた。そして、その成果を各イベントや学校で伝える目標を達成すると共に、さらに現在もエンジンの改良のために不断の努力を続けている。上の3つの「悦び」は今もなお持続されているといえる。

近年、創造性学習と銘打って「ものづくり」教育が盛んに行われているが、阿部二郎(北海道教育大学)は“一般論として述べるなら、基礎・基本知識の体系的な学習活動なしに高い「創造性」は発揮されるものではないし、「人格」によってもその発現の差は大きいものになる…”⁽²⁾と、昨今の「ものづくり教育」を批判している。「つくる」ことそのものより体系的自然科学の基礎知識の習得を先行すべきであると論考し、さらに「創

造性」の発現にはその人の人格が大きく影響を及ぼすことを指摘している。豊富な知識や優れた技能を身につけているにも拘らず、それらを「創造性」に直接結び付けることができない人々がいかにも多くいるかということは筆者も感じている。その「創造性」の発掘こそわれわれに課せられた重要な研究テーマであると考ええる。

また、「失敗学」を提唱している畑村洋太郎(工学院大学)は“人間は何か新しいことにチャレンジして行動すれば、その結果はほとんど失敗である。しかし、人間の行動の結果がすべていつも失敗かという、必ずしもそうでない。何かを目標にし、何かに到達しようとして一生懸命努力すると、きちんと成功することが多々ある。そのとき人間は、非常に大きな達成感を得るだろう。そして、さらにまた努力をし、チャレンジして行動するだろう。”⁽³⁾と述べ、失敗を成功に導くための「真の科学的理解」に到達するためには「行動すること」を挙げている。失敗することを恐れ、行動を起こさない若者が多い中、この未知なるプロジェクトに集まった学生たちの行動を賛美したい。彼らの“飽くなき挑戦”は今も続いている。

引用文献

- (1) L. T. C. Rolt : 『THOMAS NEWCOMEN』, pp. 80-102, David & Charles, 1964
- (2) 阿部二郎 : 「加工学習指導方法への批判的検討」, 『技術教室』9月号, p. 41, 農文協, 2006
- (3) 畑村洋太郎 ; 『技術の創造と設計』, p.128, 岩波書店, 2006